

Extração de Planos Morfoestruturais em Ambiente SIG como Ferramenta de Análise em Geologia Estrutural

Extraction of Morpho Structural Planes in GIS Environment, as an Analysis Tool in Structural Geology

SOARES, Túlio Marques ¹
DE ALMEIDA, Tati ²
VIEGAS, Luís Gustavo Ferreira ²

RESUMO

A Geomorfologia pode ser estudada sob diversas vertentes. Regiões tropicais como a Norte e o Centro Oeste brasileiro apresentam forte influência da Geomorfologia Climática (processos naturais exógenos ligados ao clima modelam o relevo), porém a Geomorfologia Estrutural/Tectônica (processos naturais endógenos ligados a reologia das rochas modelam o relevo) ainda apresenta papel relevante nessa região. Partindo dessa premissa, a medida de superfícies morfoestruturais S(mfs), planos medidos segundo seu mergulho e direção de mergulho a partir de produtos de modelos digitais de elevação (MDE) em ambiente SIG, para regiões que sofram controle geomorfológico estrutural, podem servir de auxílio para análises de planos em Geologia Estrutural. Foram analisados quatro casos dois de controle estrutural e dois de controle climático, em regiões mapeadas em disciplinas do curso de Geologia da Universidade de Brasília, três em âmbito do Trabalho Final de graduação, Faina – GO\2014, Paraíso – TO\2015 e Almas – TO\2016 e uma de Mapeamento Geológico I, Formoso – MG. Os resultados apresentam uma boa correlação entre os S(mfs) e os S(n) regionais para regiões de controle geomorfológico estrutural, o que confirma a possibilidade de seu uso como ferramenta de análise. Assim, a extração dos S(mfs) a partir de produtos de MDE em ambiente SIG, para regiões de controle morfológico endógeno, se mostra uma ferramenta pré-campo útil para a geologia Estrutural.

Palavras-chave: Geomorfologia; Geomorfometria, Geologia Estrutural; Geoprocessamento.

ABSTRACT

Geomorphology can be studied by many aspects. Tropical regions such as the Brazilian North and Midwest have a strong influence of Climatic Geomorphology (exogenous natural processes models the relief), however Structural Geomorphology (endogenous natural processes models the relief) still plays a relevant role in this region. Based on this premise, the measurement of morpho structural surfaces S(mfs), planes measured according to their dip and dip direction from products of digital elevation models (DEM) in a GIS environment, for regions undergoing structural Geomorphological control, can work as a support for structural analysis of planes. Were analyzed four study cases, two of structural control and two of climatic control, all regions mapped in subjects on graduations in Geology at University of Brasília, three in the scope of the “course conclusion monograph” Faina - GO \ 2014, Paraíso - TO \ 2015 and Almas - TO \ 2016 and one in the scope of Geological Mapping I, Formoso - MG. The results show a good correlation between S(mfs) and S(n) for regions of structural geomorphological control, which confirms the possibility of its use as an analysis tool. Thus, the extraction of S(mfs) from products of DEM in GIS environment, for regions of endogenous morphological control, is a useful “pre-mapping” tool for Structural geology.

Keywords: Geomorphology, Geomorphometry, Structural Geology, Geoprocessing.

¹Especialista em Geoprocessamento. PPG, IG/UnB-VI Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental. tmarques.soares@gmail.com

²Professor Orientador: Doutor em Geociências, Universidade de Brasília - UnB. tati@unb.br

²Professor Orientador: Doutor em Geociências, Universidade de Brasília - UnB, lviegas@unb.br
Brasília – DF, março de 2018.

INTRODUÇÃO

A Geomorfologia se propõe a investigar a forma do relevo e os processos que a geraram sob a ótica de três pilares, Forma, Processo e História. Duas correntes podem ser salientadas no que tange aos processos de formação do relevo, Geomorfologia Estrutural e Geomorfologia Climática.

A Geomorfologia Estrutural/Tectônica de forte ligação com a Geografia física e a Geologia, entende os processos de formação de relevo sob o viés dos processos naturais endogenéticos, relacionado a reologia das rochas. A Geomorfologia Tectônica (Ciclo Tectônico) Figura 1, tem como base os processos tectônicos como principal ator na construção do relevo, ou seja, a forma do relevo reflete a estrutura geológica.

A Geomorfologia Climática (Ciclo Hidrológico) Figura 1, entende a formação do relevo a partir de processos externos de influência climática, ou seja, o clima atuante na região modelou o relevo, a forma reflete, portanto, a ação do clima ao longo do tempo geológico.

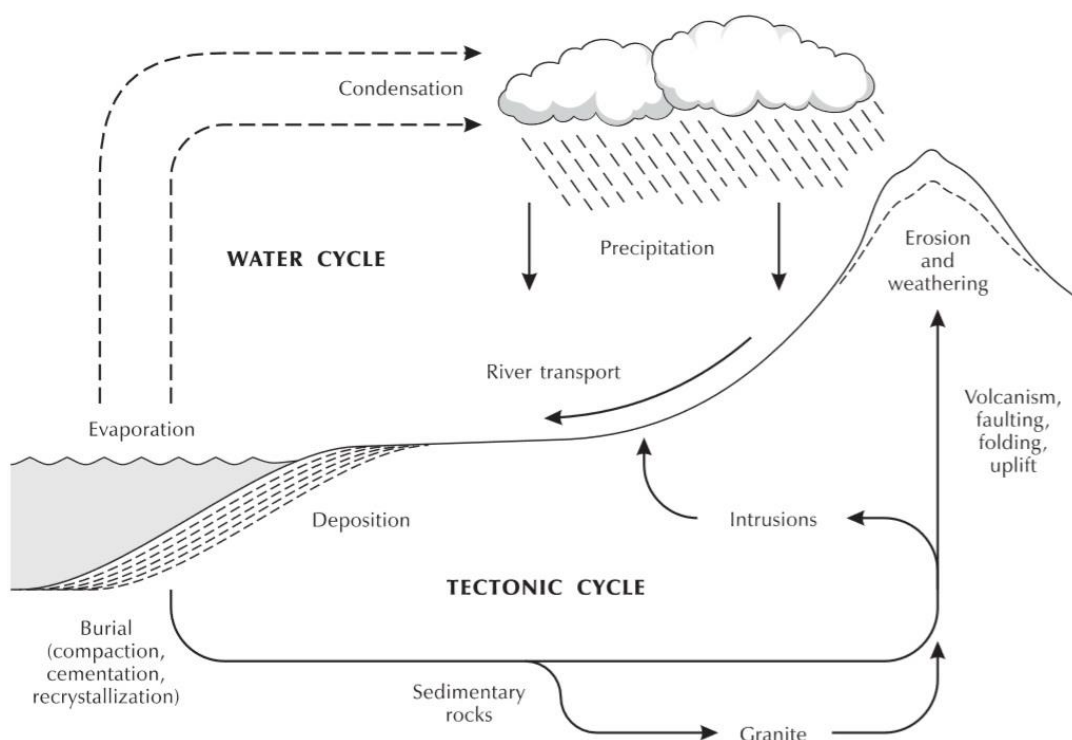


Figura 1 - O Ciclo hidrológico (water cycle), viés exógeno. O Ciclo Tectônico (Tectonic Cycle), viés endógeno. Retirado de (Hugget 2007, p.37)

Claramente o relevo é modelado por diversos fatores/processos, atuantes de maneira combinada, ora com maior relevância para fatores endógenos ora com maior relevância para fatores exógenos.

A região Centro-Oeste e Norte do Brasil de clima Tropical que abrange os alvos do estudo, apresenta aceitação mais ampla no que concerne a formação do relevo, aos processos climáticos. Os aspectos estruturais encontram-se suavizados, porém ainda são perceptíveis e mensuráveis.

As superfícies morfoestruturais (planos que compreendem a simplificação da forma do relevo, preservando suas características de orientação e inclinação) S(mfs), podem apresentar correlação com planos referentes aos produzidos na evolução tectônica da região, principalmente em escala regional.

Avaliando a Influência da estrutural na formação do relevo em regiões tropicais, serão estudados quatro alvos, dois de característica endógena e dois de característica exógena, todos objetos de mapeamento geológico no curso de Geologia da Universidade de Brasília (UnB).

A extração dessas medidas será feita em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), partindo de produtos de modelos digitais de elevação (MDE).

A correlação do dado extraído com os dados de campo, buscará evidenciar quais planos oferecem menor erro. Será proposta uma metodologia para que tais planos sejam marcados e deles extraídos sua direção e mergulho.

Desse modo, este trabalho buscou a correlação de dados extraídos indiretamente com dados obtidos em campo, visando evidenciar os S(mfs) que mais se aproximam aos valores de planos estruturais.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado tendo por base quatro alvos, nas regiões de: Faina – Goiás (Trabalho final de graduação, TF-2014 IG/UnB), Paraíso – Tocantins (Trabalho final de graduação, TF-2015 IG/UnB), Almas – Tocantins (Trabalho final de graduação, TF-2016 IG/UnB), e Formoso – Minas Gerais (Mapeamento Geológico 1 – IG/UnB) representados na Figura 2. Desses trabalhos de mapeamento foram utilizados os dados estruturais planares obtidos de medidas em campo.

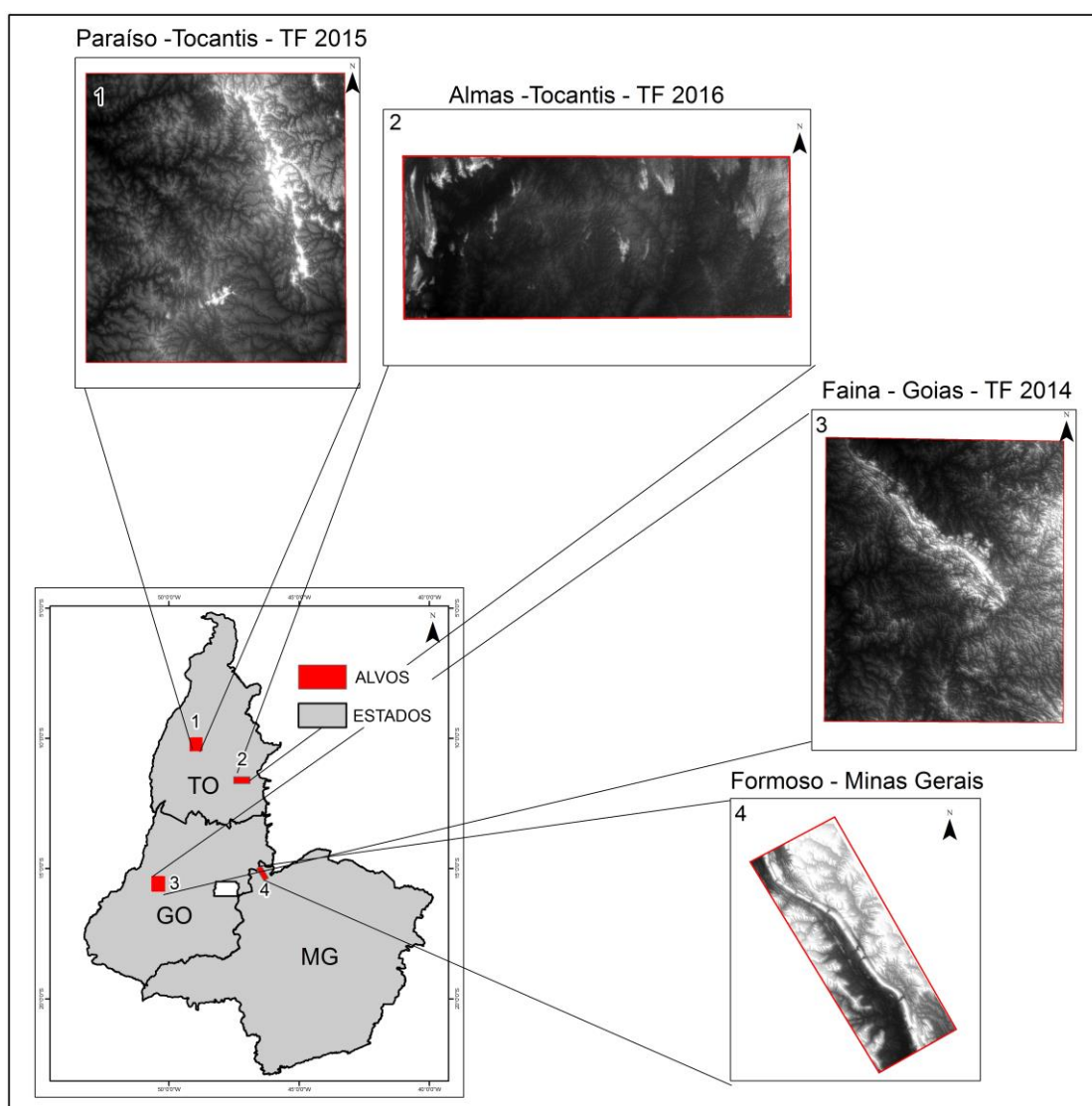


Figura 2 - Localização dos Alvos do estudo

O alvo Faina localizado na porção setentrional do Terreno Arqueano-Paleoproterozóico de Goiás, abrange o Greenstone Belt de Faina, uma parte do Greenstone Belt de Serra de Santa Rita e porções dos Complexos tonalitos, trondjemito e granodioritos (TTG) Caiçara e Uvá, adjacentes as faixas greenstone (Toledo, Silva, Jost et al. 2014, apud Jost et al. 1995; Jost et al. 1996; Jost et al. 2001)

O alvo Paraíso se situa na porção sul da Faixa de Dobramentos Araguaia, inserida na borda oriental do Cráton Amazônico, a Faixa Araguaia se estende num trend sub meridional com variações de 30° para NE ou NW (Dantas, Oliveira, Vidotti et al 2015, apud Abreu et al. 1994), (Dantas, Oliveira Vidotti et al 2015, apud Almeida e Hasui 1984) definiram a faixa como pertencente ao Ciclo Brasileiro. O embasamento da Faixa Araguaia é constituído por domínios Arqueanos e Paleoproterozóicos e coberturas Neoproterozóicas e Fanerozóicas.

O alvo Almas é correspondente à sequência vulcano sedimentar do Greenstone Belt de Almas, Complexo (TTG), intrusivas intermediárias a máficas, rochas tonalíticas, granodioríticas e graníticas e rochas sedimentares do Grupo Natividade (Campos, Horbe, Toledo et al 2016).

O alvo Formoso situado em parte da Serra de São Domingos, abrange litofácies do grupo Bambuí e do Grupo Paranoá, ambos anquimetamórficos e de idade Mesoproterozóica. (Alvarenga, Vieira, Garnier et al 2015, apud Alvarenga et al. (2012))

Os dados de MDE foram obtidos do *Alaska Satellite Facility (ASF)* e são provenientes do satélite *ALOS (Advanced Land Observing Satellite) PALSAR* (Sensor do tipo SAR – radar de abertura sintética, que opera na banda L), lançados pela *JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency)* em 2006, de resolução espacial de 12,5m.

O processo de comparação dos dados indiretos com os dados de campo foi desenvolvido no SIG Esri ArcGIS versão 10.2, com as ferramentas “Aspect” (direção da inclinação) e a “Slope” (valor de Inclinação), foi utilizado do “plugin” “*Riparian Topography Tool Box*”, dos autores Tom Dilts e Jiang Yang 2015, do “*Great Basin Landscape Ecology Lab, University of Nevada Reno*” a ferramenta HAND (Height Above the Nearest Drainage),.

A metodologia utilizada nesse processo de comparação foi subdividida em três etapas, Figura 3. A etapa 1 trata da compilação e processamento dos dados iniciais de tabelas e rasters, o MDE será analisado em sua forma bruta e também aplicado a técnica *“HAND (Height Above the Nearest Drainage) que é a grade de distância vertical extraída referente ao desnível, ou seja, à distância vertical de cada ponto em relação à drenagem mais próxima”*. (Rennó et al. 2008). Etapa 2 trata da comparação dos dados indiretos e de campo, onde se busca entender os acertos e erros assim como propor as condições ideais de igualdade e diferença entre os dados. Etapa 3 busca propor uma metodologia que evidencie as regiões onde a comparação resultou em igualdade entre os dados, seja de maneira direta, ou em determinadas condições.

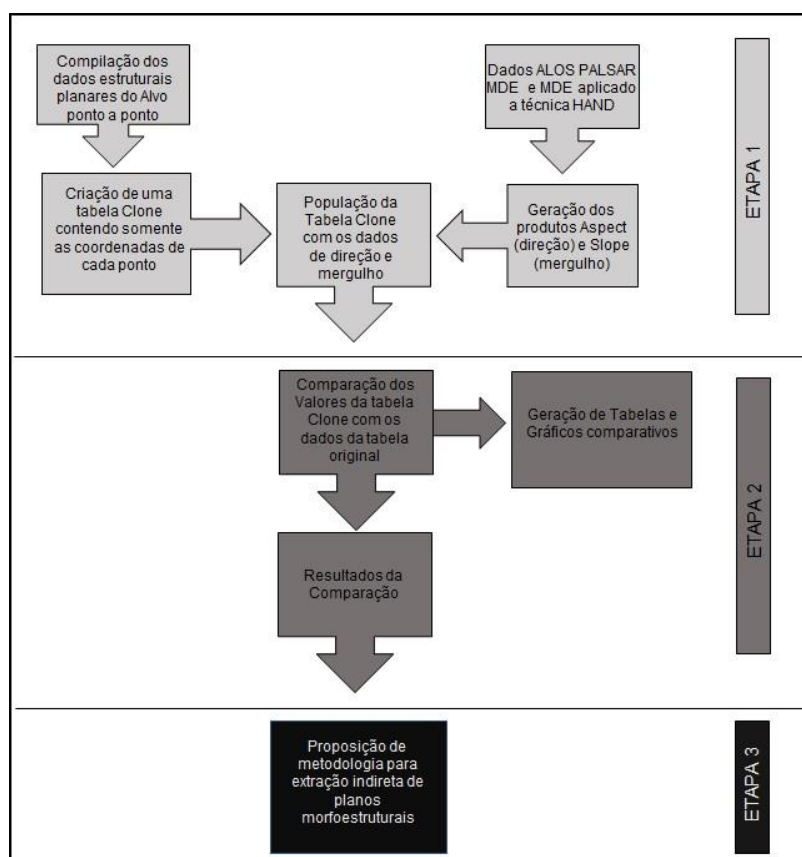


Figura 3 - Fluxo metodológico da comparação dos dados indiretos com os dados de campo

A metodologia para a seleção dos planos S(mfs) será detalhado na Figura 4, onde é selecionado de maneira automática as rampas, os planos S(mfs) e as regiões onde a comparação resultou em igualdade, de forma direta ou condicional.

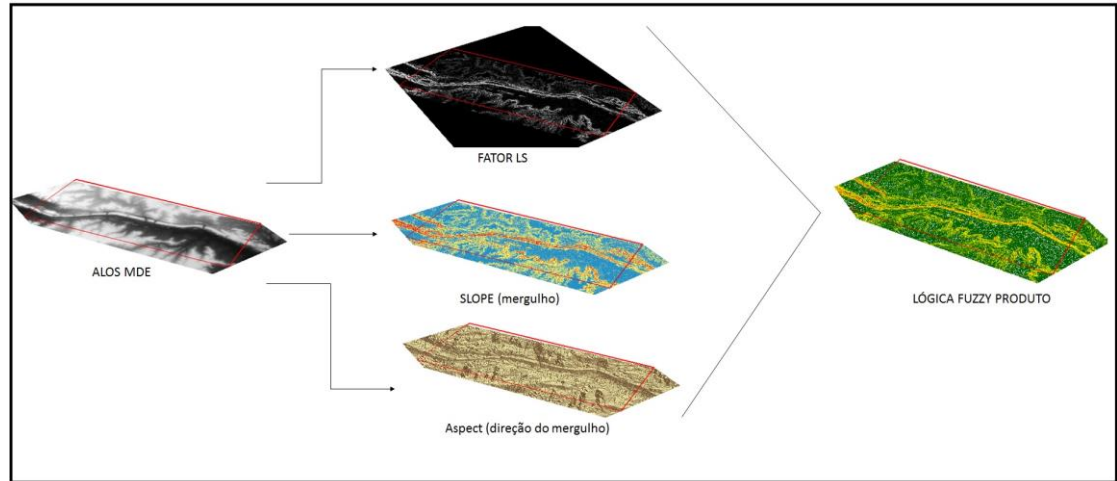


Figura 4 - Fluxo metodológico para a seleção dos S(mfs)

Nesse segundo fluxograma a partir do MDE, se produziu o Fator LS (comprimento de rampa), calculado pela equação $LS=0,00984*S^{1,18}*L^{0,63}$ (Florenzano 2008, p.88), o mergulho e a direção de mergulho. Aplicou-se então a Lógica Fuzzy (Nebulosa) em seu operador produto, dividiu-se o resultado em 10 intervalos (de 0 a 1, onde o 0 é não pertinência e o 1 é pertinência absoluta), baseados nas quebras naturais da distribuição dos valores dos dados Fuzzy, os valores maiores que 0,5 de pertinência contém os pontos comparados da metodologia anterior.

Evidenciados esses planos, foi utilizado uma terceira metodologia, Figura 5, para enfim se extrair os valores dos planos S(mfs) em formato mergulho e direção de mergulho (dip/dip direction).

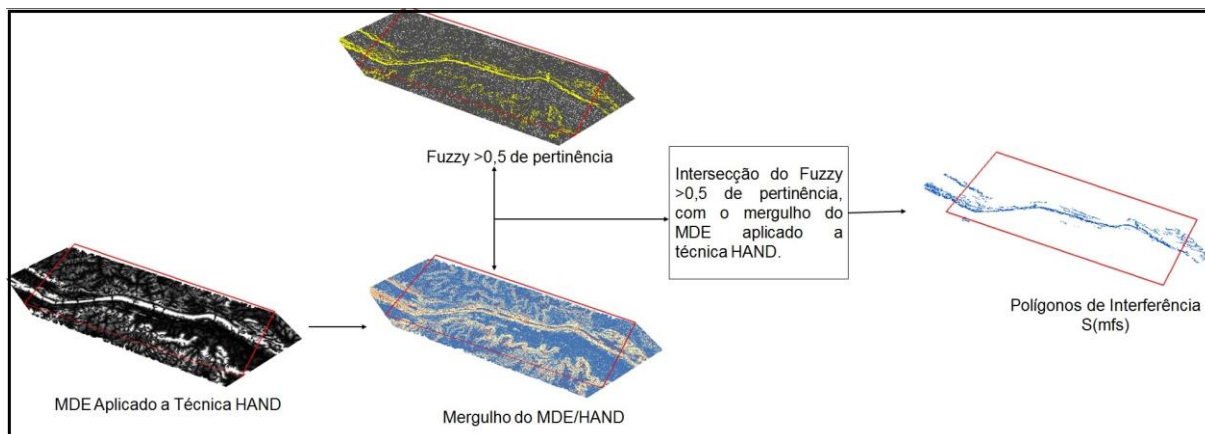


Figura 5 - Fluxo metodológico para a extração dos S(mfs)

A partir da intersecção Fuzzy/Hand é gerado um grande número de polígonos, esses polígonos devem ser selecionados de acordo com tamanho da área que abrangem, os maiores compreenderão de melhor maneira os planos S(mfs). Os planos são convertidos em pontos e a esses pontos será atribuído o valor de direção de mergulho (dip direction) proveniente do produto do MDE original e o valor de mergulho (dip) de origem no produto do MDE/HAND.

Baseado nos dois conjuntos de pontos, os extraídos indiretamente e os de campo, se validou a técnica por base nos estereogramas confeccionados no software *GEOriente versão 9.5.0 do autor Rod Holcombe 2011*.

RESULTADOS

Visando aplicar a metodologia de comparação de pontos com dados de campo, aplicou-se esse procedimento para os dados do TF-2014 Faina-GO, pois esse alvo apresenta grande volume de medidas planares estruturais (3440 medidas) classificadas e hierarquizadas, e um bom contraste entre região plana e região movimentada. Aqui se testou os dados para MDE ALOS e ALOS/HAND.

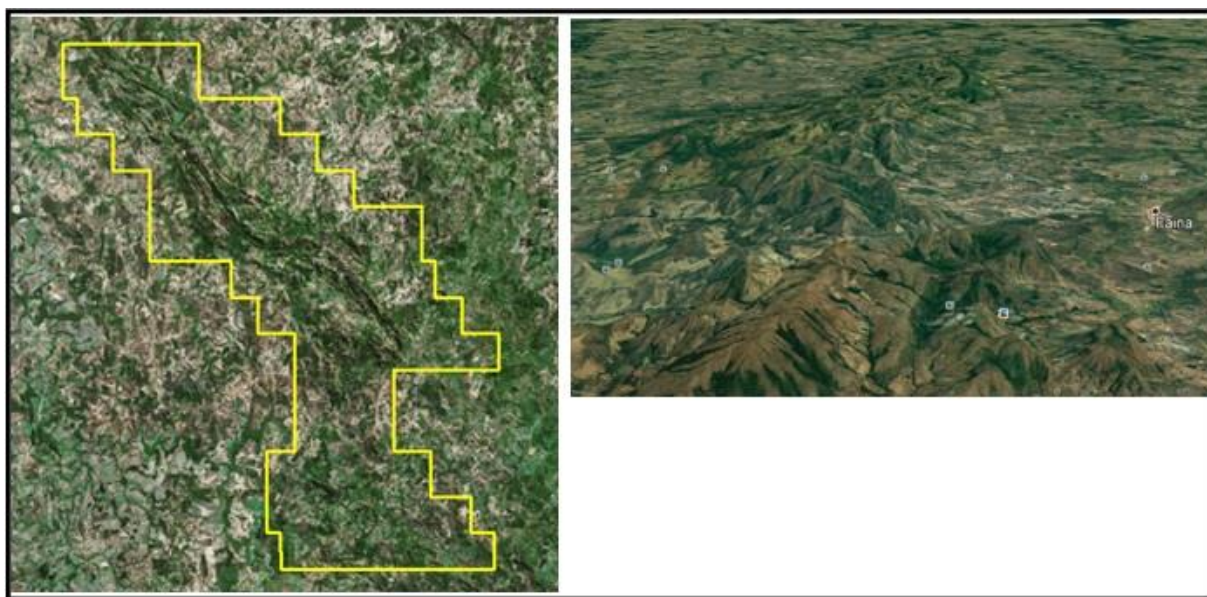


Figura 6 - A esquerda área alvo imagem do Esri Arc Gis Basemap. A direita contraste de relevo, imagem do Google Earth.

Em princípio se buscou os pontos que são estritamente iguais aos dados de campo, e suas análises seguirão em separado para o dip direction (Aspect) e dip (Slope), os resultados seguem na Tabela 1.

Tabela 1 - Correlação dos dados ponto a ponto entre os extraídos indiretamente em ambiente SIG e os medidos em campo para os valores estritamente iguais.

Tabela de Correlação dos dados extraídos em ambiente SIG			
	DIP DIR	DIP	Porcentagem dos dados brutos
ALOS	26	25	Dip direction 0,7% Dip 0,7%
ALOS HAND	13	33	Dip direction 0,4% Dip 0,95%

Propondo parâmetros que melhor correlacionem os dados, se obteve nessa Tabela 2, os dados de dip dir que apresentaram erros de até 20° e dip com erros de até 10°.

Tabela 2 - Comparação ponto a ponto entre dados extraídos indiretamente e dados medidos em campo, considerando erros.

	Tabela de Correlação dos dados extraídos em ambiente SIG		
	DIP DIR	DIP	Porcentagem dos dados brutos
ALOS	928	683	Dip direction 33% Dip 24,6%
ALOS HAND	958	728	Dip direction 34,6% Dip 28,25%

Os pontos que simultaneamente apresentaram valores de dip direction e dip comparativamente iguais aos dados de campo, segundo os parâmetros acima, somam por volta de 340 pontos ao todo, aproximadamente 10% dos dados de campo, tanto para o ALOS quanto para o ALOS/HAND.

O ALOS apresentou valor de dip máximo de 60°, o ALOS HAND dip máximo de 80°, os dados de campo apresentam dip máximo de 90° e cerca de 40% dos pontos apresentam mergulhos maiores que 50°.

Analisando as tabelas de campo conjuntamente com os dados SIG, percebe-se um padrão de melhor comparação para mergulhos de baixo ângulo, menores que 30° Figura 7.

Erro da Medida do Mergulho (ALOS) VS Mergulho Obtido em Campo
 $Y(x) = 0,9665x - 7,3188$

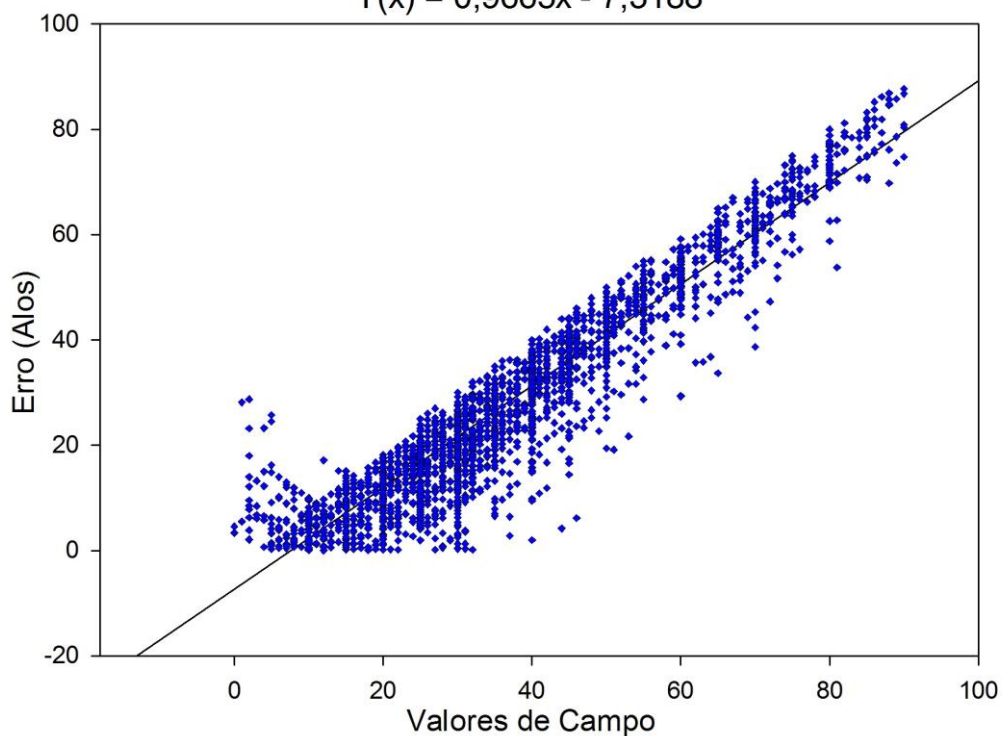


Figura 7 - Gráfico do erro da medida do mergulho comparado ao valor do mergulho obtido em campo.

Erro da medida do mergulho ALOS vs Mergulho obtido em campo para valores menores que 30°
 $Y(x) = 0,5938x + 0,4345$

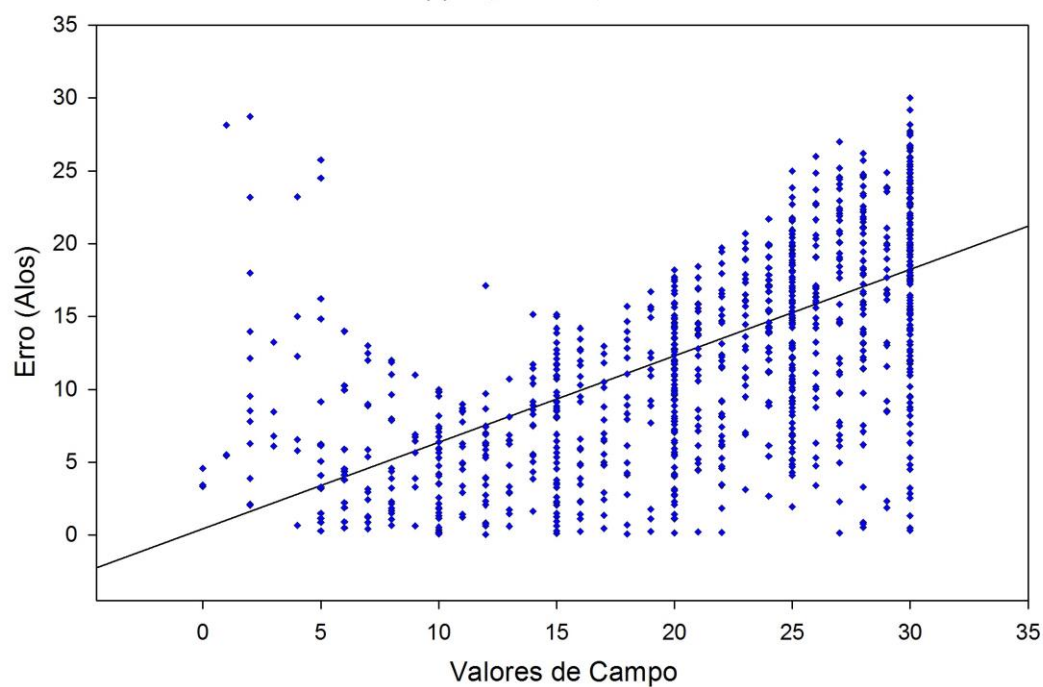


Figura 8 - Gráfico do erro da medida do mergulho comparado ao valor do mergulho obtido em campo, para valores menores que 30°.

Para os valores de direção se percebe uma correlação boa com os dados de campo Tabela 2, principalmente para os dados de direção da fase principal / Regional. Ao se aplicar o critério de erro de até 20° se obtém uma boa amostragem, sendo o grande ponto da análise se refinar a aferição do mergulho.

Aplicando-se a segunda e terceira metodologia, respectivamente selecionar os planos e extrair os valores pontuais para cada alvo, se obteve:

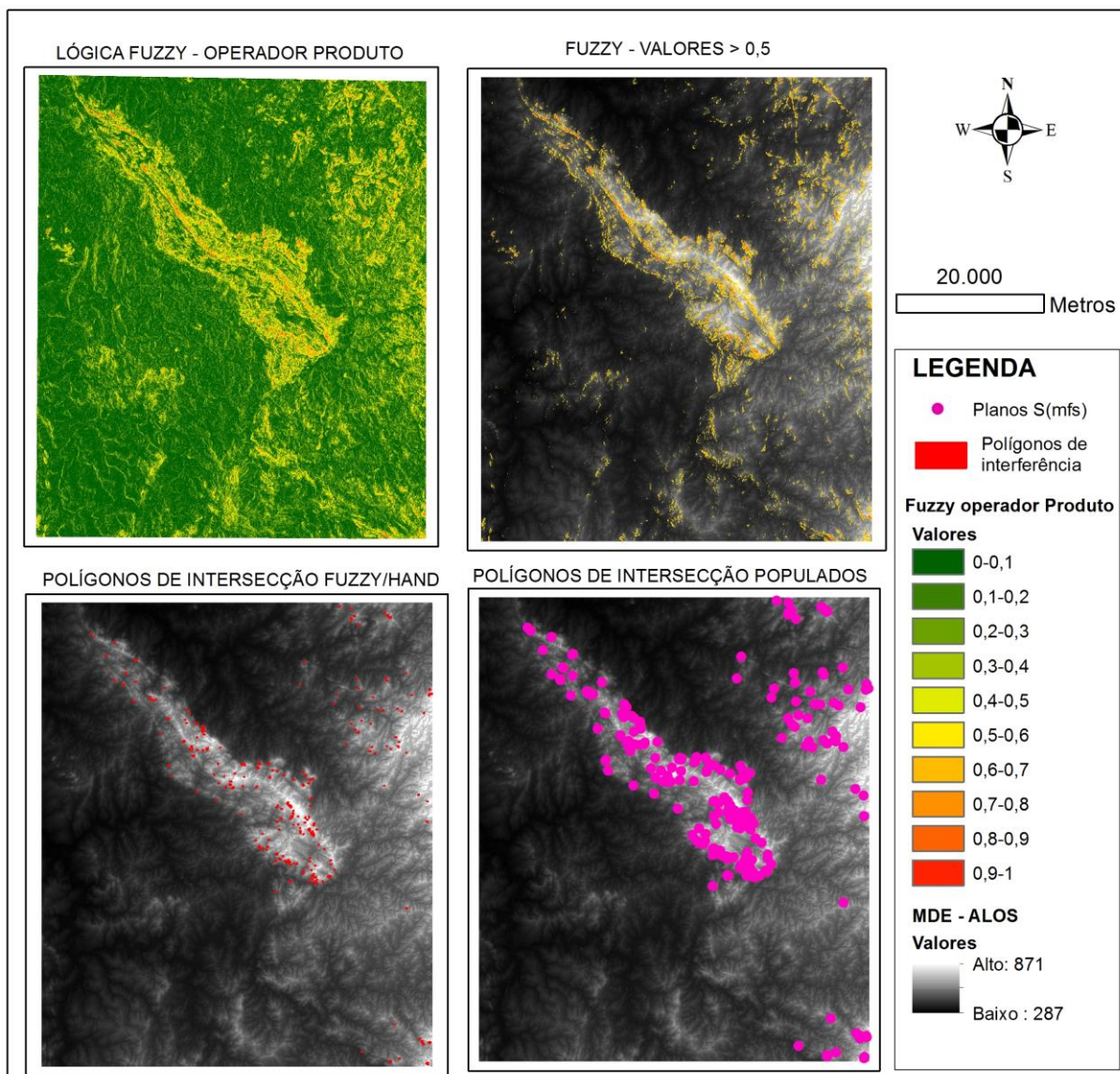


Figura 9 - Produtos da seleção de planos S(mfs) e da metodologia de extração dos seus valores, alvo Faina.

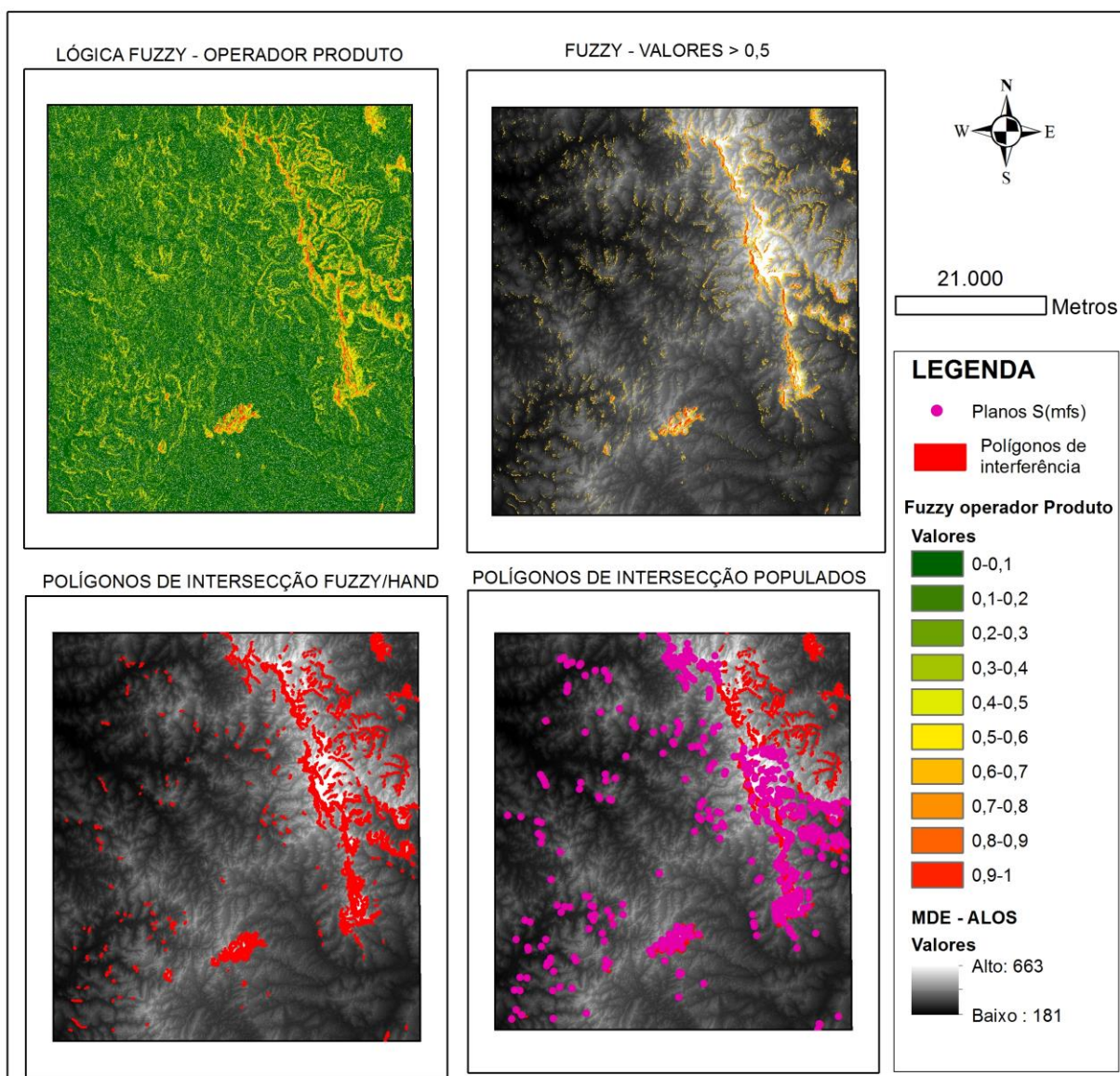


Figura 10- Produtos da seleção de planos S(mfs) e da metodologia de extração dos seus valores, alvo Paraíso

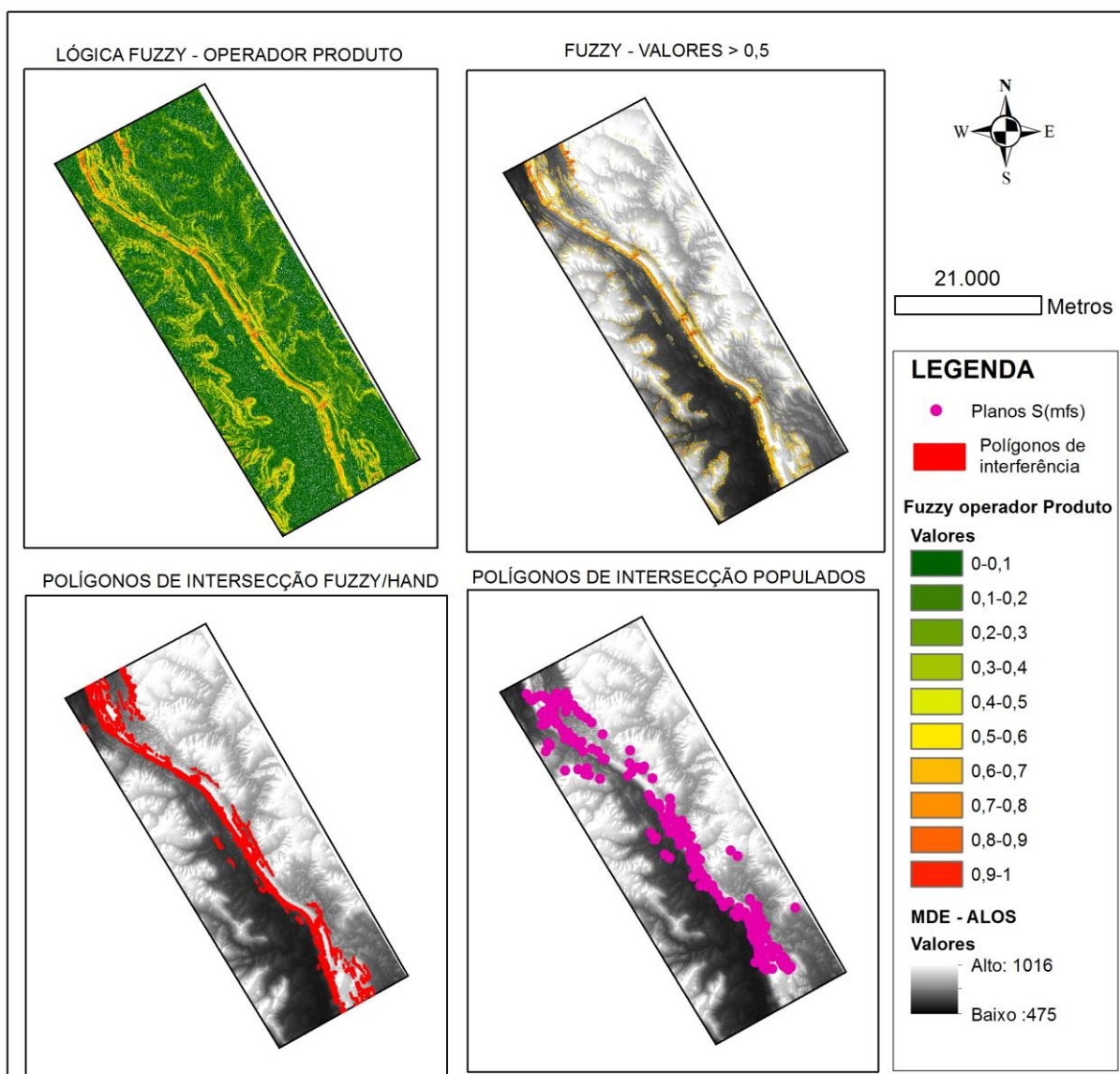


Figura 11 - Produtos da seleção de planos S(mfs) e da metodologia de extração dos seus valores, alvo Formoso

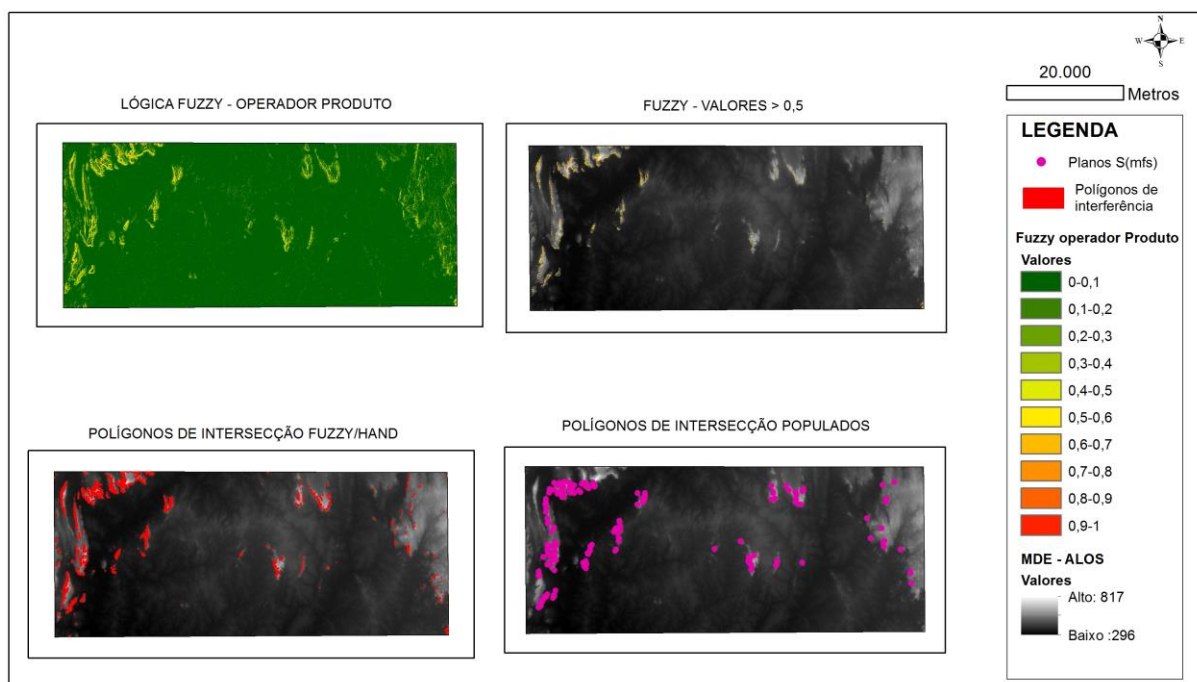


Figura 12 - Produtos da seleção de planos S(mfs) e da metodologia de extração dos seus valores, alvo Almas

Os estereogramas dos valores obtidos pela metodologia neste trabalho tratada e dos dados de campo, foram confeccionados tendo por base o range de confiabilidade dos dados extraídos no que concerne o mergulho.

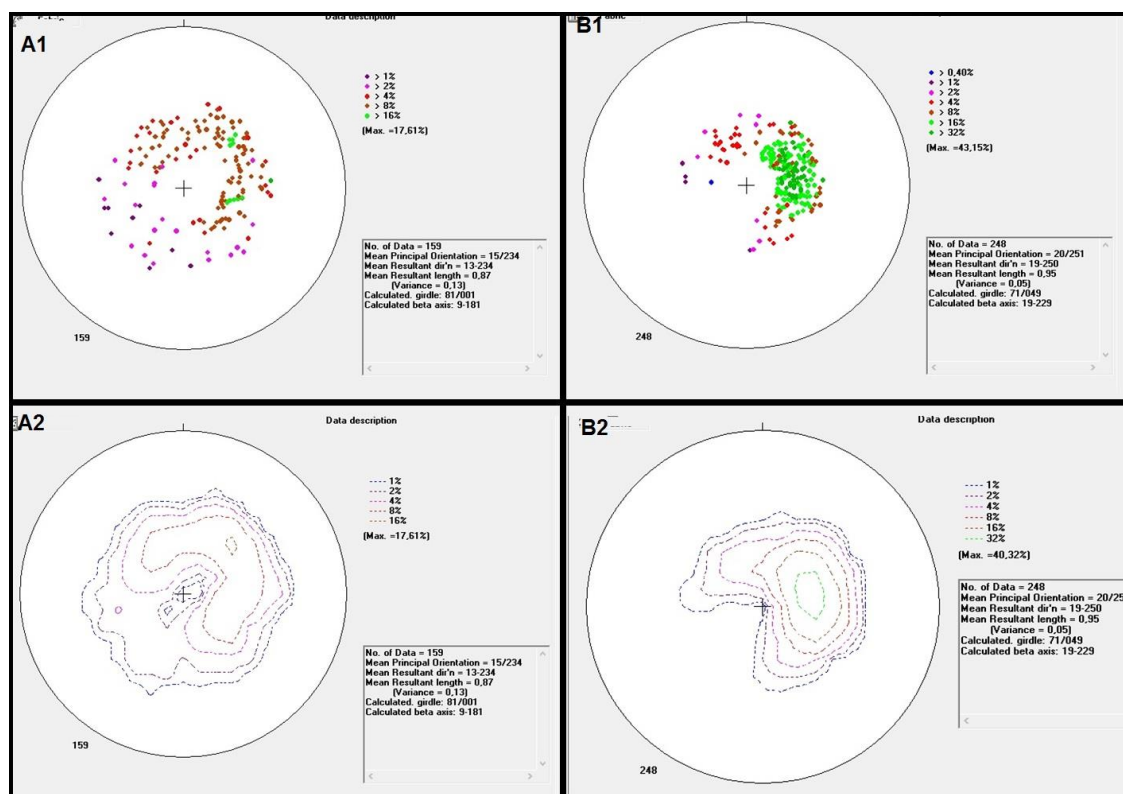


Figura 13 - Estereogramas comparativos, "A" dados obtidos em campo, "B" dados extraídos segundo a metodologia. Alvo Faina.

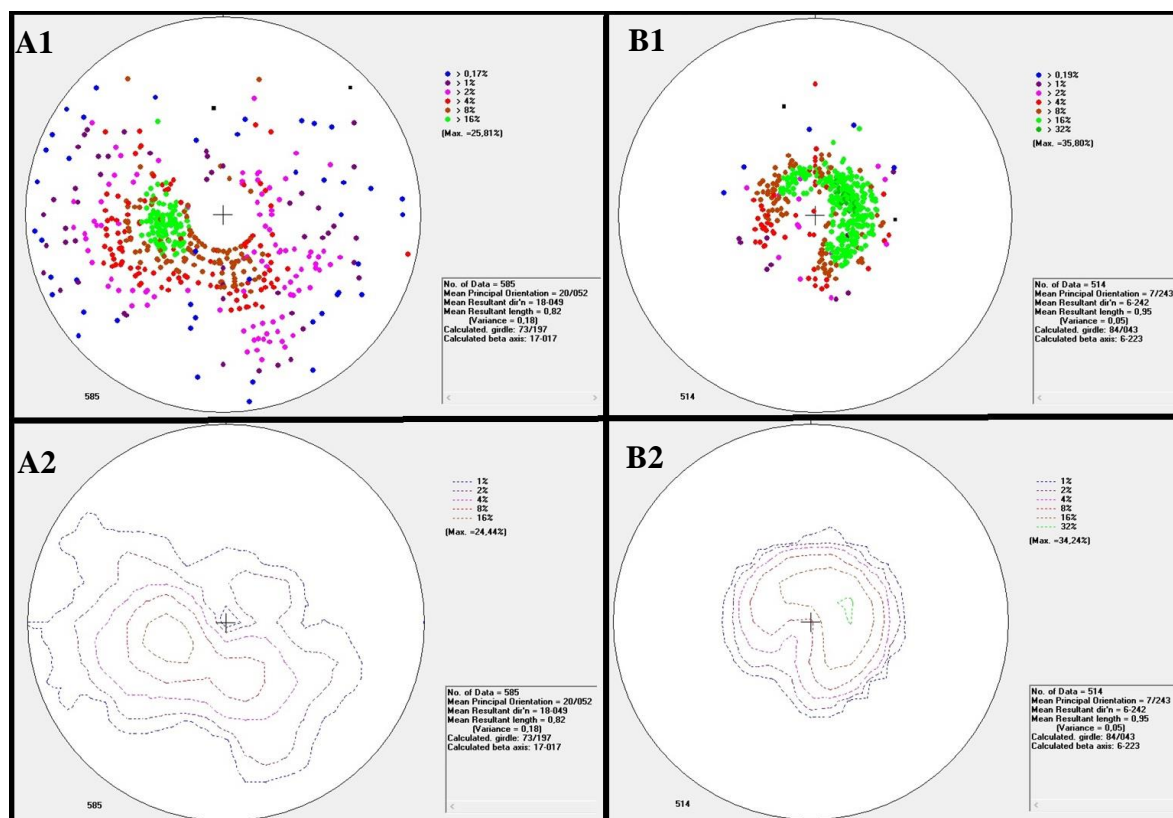


Figura 14 - Estereogramas comparativos, "A" dados obtidos em campo, "B" dados extraídos segundo a metodologia. Alvo Paraíso.

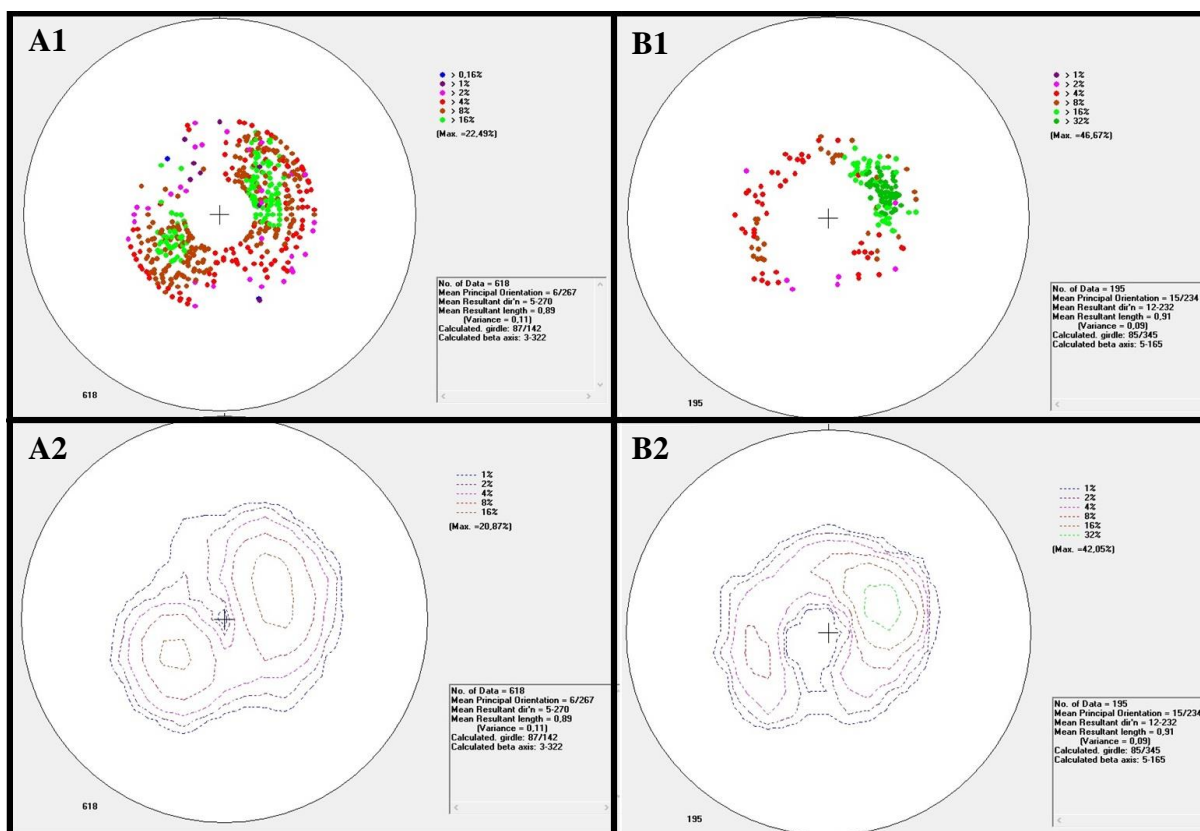


Figura 15 - Estereogramas comparativos, "A" dados obtidos em campo, "B" dados extraídos segundo a metodologia. Alvo Formoso.

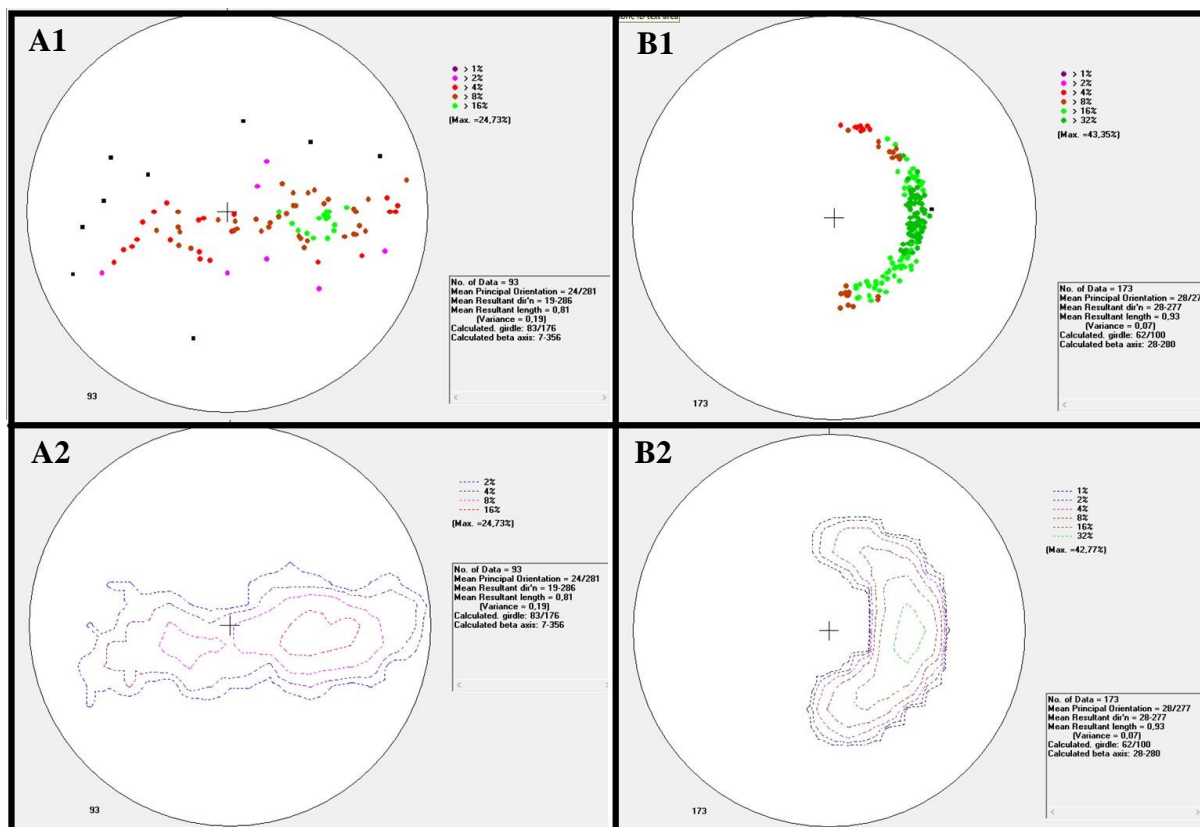


Figura 16 - Estereogramas comparativos, "A" dados obtidos em campo, "B" dados extraídos segundo a metodologia. Alvo Almas.

DISCUSSÃO

A etapa de comparação dos dados evidenciou um comportamento que sugere ser intrínseco ao material utilizado o MDE. Os gráficos mostram uma forte tendência para erros em mergulhos maiores que 30° , para dip menores que 30° embora ainda existam erros, é a porção que os apresenta de forma menos marcante. Fato confirmado no coeficiente angular da reta de tendência, onde para todo o conjunto de dados é igual a $\sim 0,9$ e para os $\text{dip} < 30^\circ$ é $\sim 0,6$.

Comparativamente os dados ALOS e ALOS/HAND apresentam desempenho bem próximo, porém para o dado aplicado a técnica HAND, devido o incremento na inclinação, se percebe um maior número de acertos o que demonstra a utilidade da técnica para análises de inclinações.

Os dados de direção apresentam maiores acertos em relação aos de mergulho, sendo o aumento da precisão da inclinação o objeto mais importante para uma melhor correlação dos dados indiretos com os dados diretos, por esse motivo a

etapa de extração de medidas faz o uso dos dados do ALOS para a direção de mergulho e ALOS/HAND para os mergulhos.

O limite dos mergulhos no MDE não alcança os mesmos valores dos coletados em campo, isso se deve a fatores de escala, efeito de suavização do relevo por ação do intemperismo, resolução espacial do raster, forma de aquisição do dado no que se trata de iluminação e posição de imageamento. O efeito desses fatores está diretamente ligado a qualidade dos valores obtidos.

Os dados do alvo Faina se mostraram extremamente úteis para se executar a etapa de comparação, evidenciando as características do material.

A etapa de selecionamento das áreas mais pertinentes a presença dos S(mfs) foi testada em quatro alvos. Alvos onde a geomorfologia apresentava maior controle estrutural/tectônico, as regiões de Faina - GO e Formoso - MG. Alvos onde a geomorfologia apresentava maior controle climático, as regiões de Paraíso – TO e Almas -TO.

Nos dois alvos de maior controle endógeno se apresentou uma maior proximidade entre os dados extraídos indiretamente e os dados obtidos em campo. Como esperado os alvos de geomorfologia climática, coincidentemente regiões mais arrasadas, apresentaram piores resultados contrastando aos dados de campo.

O alvo Faina apresentou um estereograma muito próximo aos dados do mapeamento, tendo como valor principal 20/251 muito próximo ao valor mapeado de 15/234 e exceto pelo ruído apresentado nos dados originais, representados por planos a NE, o comportamento dos estereogramas em muito se assemelha.

Os dados originais do TF – Paraíso 2015 não apresentavam classificação dos planos em eventos (S_0, S_1, \dots, S_n), mas sim em litologias (valores de planos característicos de cada litologia mapeada), os dados classificados como S_0 consistiam de 12 pontos, por serem poucos, optou-se por comparar o conjunto inteiro das medidas. O dado extraído sofreu forte influência dos planos obtidos na elevação topográfica a leste da área, o que poluiu o estereograma com medidas de planos a SW (encosta principal da serra), gerando um padrão no estereograma que em nada se parece com os dados de campo.

Os estereogramas do alvo Formoso são os mais parecidos entre si, comparados aos outros alvos, embora apresentem valores principais distintos o comportamento geral é equivalente.

A região estudada de Almas é a mais arrasada dentre os alvos, os planos S(mfs) não apresentam boa cobertura da área, a serra a oeste gerou uma tendência nos dados que conferiu ao estereograma um padrão diferente dos dados originais. O valor principal dos dois conjuntos de dados foram próximos, 24/281 para os dados de campo e 28/277 para os dados S(mfs).

A técnica se mostrou útil para medidas em regiões de marcado controle geomorfológico estrutural/tectônico, para valores de mergulho entre 15° e 35° e para as direções principais observáveis em escala regional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica apresentada nesse trabalho figura entre as análises pré mapeamento/pré-campo, embora possua certas limitações, foi capaz de apresentar bons resultados.

A aplicação dessa metodologia conjuntamente a outras, tais como, extração de lineamentos, interpretação de fotos aéreas e outras técnicas pré-campo já conhecidas, podem refinar os dados de planos S(mfs) e assim melhor contribuir para campanhas de mapeamento.

Regiões tropicais onde os fatores climáticos são os principais modeladores do relevo, podem conter exemplos de controle estrutural, para esses, a metodologia exposta se apresenta como ferramenta interessante para estudos regionais, e pré mapeamento.

Utilizada como ferramenta para análises estruturais pode facilitar o mapeamento, pois possibilita uma análise macroscópica da região tendo como resultado um valor numérico que pode servir de base para o detalhamento de outras fases.

REFERÊNCIAS

- ABREU F.A.M.; GORAYEB P.S.S.; HASUI, Y. 1994. **Tectônica e Inversão Metamórfica no Cinturão Araguaia**. SBG, Simpósio Geologia Amazônia, 4, Belém, Resumos Expandidos, 1-4
- ALMEIDA F.F.M., HASUI, Y. (eds.). 1984. **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo, Blücher Ltda, p. 378.
- ALVARENGA, C. J. S.; DARDENNE, M.A.; VIEIRA, L. C.; MARTINHO, C.T.; GUIMARÃES, E. M.; SANTOS, R.V.; e SANTANA, R.O. **Estratigrafia da Borda Ocidental da Bacia do São Francisco**. B. Geoci. Petrobrás, Rio de Janeiro, v20 n. 1/2, p. 145 – 164, 2012
- ALVARENGA, C. J. S.; VIEIRA, L. C.; GARNIER, J.; et al. **Relatórios da disciplina Mapeamento 1 do Curso de Geologia da Universidade de Brasília, Projeto Formoso – Minas Gerais**, Brasília 2015.
- CAMPOS, J. E. G.; HORBE, A. M. C.; TOLEDO, C. L. B; et al. **Relatórios dos trabalhos finais de Graduação do Curso de Geologia da Universidade de Brasília, Projeto Almas – Tocantins**, Brasília 2016
- DANTAS, E.; OLIVEIRA, C.G.; VIDOTTI, R. M.; et al. **Relatórios dos trabalhos finais de Graduação do Curso de Geologia da Universidade de Brasília, Projeto Paraíso – Tocantins**. Brasília 2015.
- FLORENZANO, T. G. (organizadora). **Geomorfologia : conceitos e tecnologias atuais**, livro. São Paulo, p.88, 2008.
- HUGGET, R. T. **Fundamentals of Geomorphology**, livro. Second Edition, New York, p.37, 2007
- JOST, H. ; KUYUMJIAN, R. M. ; FREITAS, A. L. S. ; COSTA, A. L. L. ; NASCIMENTO, C. T. C. ; VASCONCELOS, F. M. ; GALOTTI NETO, L. ; MARTINS, M. C. ; CARVALHO, M. N. ; CONDÉ, V. C. . **Geologia da porção norte do greenstone belt de Guarinos, Goiás**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 25, n.1, p. 51-60, 1995.
- JOST, H. ; THEODORO, S. M. C. H. ; FIGUEIREDO, A. M. G. ; BOAVENTURA, G. R. . **Propriedades geoquímicas e a proveniência de rochas metassedimentares detríticas arqueanas dos greenstone belts de Crixás e Guarinos, Goiás**. Revista Brasileira de Geociências, v. 26, n.2, p. 151-166, 1996.
- JOST, H. ; FUCK, R. A. ; BROD, J. A. ; DANTAS, E. L. ; MENESES, P. R. ; ASSAD, M. L. L. ; PIMENTEL, M. M. ; SILVA, A. M. . **Geologia dos terrenos arqueanos e proterozóicos da região de Crixás-Cedrolina, Goiás**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 31, n.3, p. 315-328, 2001.
- RENNÓ, C.D.; NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; SOARES, J.V.; HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M.J. **HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia**. Remote Sensing of Environment, New York, v.112, n.9, p.3469-3481, 2008
- TOLEDO, C. L. B; SILVA, A.M; JOST, H; et al. **Relatórios dos trabalhos finais de Graduação do Curso de Geologia da Universidade de Brasília, Projeto Faina – Goiás**. Brasília 2014